

KARAKTERISTIK BETON DENGAN MENGGUNAKAN BERBAGAI JENIS SEMEN

(CONCRETE CHARACTERISTICS USING VARIOUS TYPES OF CEMENT)

Lasino¹⁾, N. Retno Setiati²⁾, Dany Cahyadi³⁾

^{1), 3)}Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, ²⁾Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
^{1), 3)}Jl. Panyawungan, Cileunyi Wetan, Bandung 40622, ²⁾Jl. A.H. Nasution No. 264, Bandung 40294
 e-mail: ¹⁾lsn_pu@yahoo.com, ²⁾retno.setiati@pusjatan.pu.go.id, ³⁾danycahyadi@yahoo.com
 Diterima: 17 April 2017; direvisi: 30 Mei 2017; disetujui: 7 Juni 2017

ABSTRAK

Semen sebagai material pembentuk beton berfungsi sebagai zat pengikat yang bersifat hidraulis. Di Indonesia terdapat berbagai jenis semen yaitu semen OPC, PPC, dan PCC. Permasalahannya adalah dalam praktek kedua jenis semen tersebut yaitu PPC dan PCC, belum dapat diaplikasikan secara baik karena belum adanya data teknis yang dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan proporsi campuran. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik beton yang mencakup kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik, dan modulus elastisitas dengan menggunakan berbagai jenis semen yaitu semen OPC tipe I, PPC, dan PCC. Contoh semen diperoleh dari beberapa pabrik semen dengan jumlah masing-masing 1000 kg setiap jenis. Seluruh contoh semen dilakukan pengujian sifat fisis dan kimia untuk memastikan semuanya memenuhi syarat sesuai SNI 2015:2015 untuk OPC, SNI 0302:2014 untuk PPC, dan SNI 7064:2014 untuk PCC. Metoda penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan membuat benda uji di laboratorium dari berbagai mutu beton dan jenis semen. Dari hasil uji laboratorium diperoleh data bahwa beton dengan semen OPC, PPC, dan PCC memiliki karakteristik sedikit berbeda. Kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari dengan faktor air-semen 0,40 untuk semen OPC diperoleh 47,69 MPa, semen PPC 46,52 MPa dan semen PCC 45,57 MPa. Nilai modulus elastisitas semen OPC sebesar $4,6 \times 10^4$ MPa, semen PPC $4,1 \times 10^4$ MPa, dan semen PCC $4,2 \times 10^4$ MPa. Sedangkan hasil uji kuat tekan beton dengan semen PPC dan PCC sebelum umur 28 hari, lebih rendah dari semen OPC, tetapi setelah umur 28 hari kekuatannya relatif sama, dan memiliki ketetapan bentuk serta penyusutan lebih baik dari OPC. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semen PPC dan PCC memenuhi syarat untuk beton struktural dengan faktor air-semen di bawah semen OPC.

Kata kunci: semen, karakteristik beton, modulus elastisitas, komponen struktural, kuat tekan, durabilitas

ABSTRACT

Cement as concrete forming material acts as a hydraulic adhesive agent. In Indonesia, there are various types of cement namely OPC, PPC, and PCC. In practice, however, the two types of cement (PPC and PCC) can not be applied because there are no supported data to be used as a reference to determine mix proportion. The research aims to determine concrete properties including compressive strength, flexural strength, tensile strength, and modulus of elasticity by using some types of portland cement such as OPC, PPC, and PCC. The samples of cement were taken from cement factories with the total amount of 1000 kg each type of cement. The whole samples were tested either physical or chemical properties to ensure that all samples conformed with the requirements of SNI 2015 - 2015 for OPC, SNI 0302-2014 for PPC, and SNI 7064 - 2014 for PCC. Experimental method was used by making specimens of various concrete quality and cement types in the laboratory. The laboratory test results showed that the concrete with OPC, PPC, and PCC have slight different properties. The average compressive strength, in 28 days, with water cement ratio 0,40 are 47,69 MPa, 46,52 MPa and 45,57 MPa for OPC, PPC and PCC respectively. Meanwhile, the value of modulus of elasticity of OPC, PPC, and PCC are 4.6×10^4 MPa, 4.1×10^4 MPa and 4.2×10^4 MPa respectively. The compressive strength test of concrete using PPC and PCC are lower than OPC before 28 days, however similar after 28 days, and the stability and shrinkage are better than OPC concrete. The result indicated that PPC and PCC cement meet the requirements for structural concrete with the water cement ratio lower than OPC cement.

Keywords: cement, concrete characteristic, modulus of elasticity, structural component, compressive strength, durability

PENDAHULUAN

Keinginan untuk mendapatkan beton yang baik tetapi tetap mudah dikerjakan dan ekonomis masih menjadi harapan bagi para pelaksana di lapangan. Hal ini menjadi tantangan kenapa sampai saat ini jenis semen *Portland Pozzoland Cement (PPC)* dan *Portland Composite Cement (PCC)* tersebut belum sepenuhnya dapat diterapkan untuk komponen struktural. Hal ini dikarenakan belum adanya data teknis yang lengkap terkait sifat-sifat beton yang dihasilkan. Secara teoritis, salah satu parameter utama yang dapat mempengaruhi kekuatan beton adalah faktor air-semen (fas) (Hansen 1978). Selain fas untuk mendapatkan kepadatan beton yang sempurna adalah kandungan mortar dan *ultra fines*, karena akan berpengaruh terhadap kemudahan pengerjaan, kekompakan dan stabilitas struktur (Suhartopo 1996). Sedangkan keawetan beton sangat dipengaruhi oleh kekecambahannya karena semakin tahan terhadap unsur perusak yang dapat masuk dan merusak beton (Kjaer dan Aksa 1980).

Dengan berkembangnya produk semen *PPC* dan *PCC* yang semakin mendominasi dipasaran, maka perlu dilakukan penelitian secara komprehensif terhadap jenis-jenis semen

tersebut untuk beton. Contoh semen diambil dari 10 (sepuluh) pabrik semen di Indonesia, dengan jumlah masing-masing 1000 kg setiap jenis, dan dibuat berbagai mutu beton untuk diuji sifat-sifatnya secara lengkap.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik beton terhadap berbagai jenis semen. Karakteristik atau sifat beton yang diuji diantaranya sifat mekanik dan durabilitas beton. Beberapa sifat mekanik yang diuji adalah kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik, dan modulus elastisitas. Sedangkan untuk mengetahui tingkat durabilitas beton dilakukan pengujian permeabilitas, pengujian rangkai, dan susut.

KAJIAN PUSTAKA

Agregat

Agregat sebagai bahan pengisi beton berfungsi untuk menambah kekuatan, mengurangi penyusutan, dan mengurangi penggunaan semen. Untuk mendapatkan jaminan mutu terhadap beton yang akan dihasilkan, agregat harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu harus bersih, keras, dan kuat. Agregat harus bebas dari bahan organik sesuai SNI 03-2816-2002 (BSN 2002b). Persyaratan agregat ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Ketentuan mutu agregat

Sifat-sifat	Cara uji	Batas maksimum yang diizinkan untuk agregat	
		Halus	Kasar
Keausan agregat dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	-	40%
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat	SNI 3407:2008	10% - natrium 15% - magnesium	12% - natrium 18% - magnesium
Gumpalan lempung dan partikel yang mudah pecah	SNI 03-4141	3%	2%
Bahan yang lolos saringan No.200.	SNI 03-4142	5% untuk kondisi umum, 3% untuk kondisi permukaan terabrasi	1%

Tabel 2. Ketentuan gradasi agregat untuk beton

Ukuran ayakan		Persen berat yang lolos untuk agregat						
Inci (in)	Standar (mm)	Ukuran nominal maksimum						
		Halus		Kasar		Gabungan		
		$\frac{3}{16}$ in (5,0 mm)	1 $\frac{1}{2}$ in (40 mm)	$\frac{3}{4}$ in (20 mm)	$\frac{3}{8}$ in (10 mm)	1 $\frac{1}{2}$ in (40 mm)	$\frac{3}{4}$ in (20 mm)	$\frac{3}{8}$ in (10 mm)
2	50,0		100			100		
1 $\frac{1}{2}$	37,5		85-100	100		95-100	100	
$\frac{3}{4}$	20,0		0-25	85-100		45-80	95-100	
$\frac{1}{2}$	14,0		-	-	100	-	-	100
$\frac{3}{8}$	10,0	100	0-5	0-70	85-100	-	-	95-100
$\frac{3}{16}$	5,0	89-100		0-25	0-5	25-50	35-55	30-65
No.8	2,36	60-100		0-5	0-5	-	-	20-50
No.16	1,18	30-100				-	-	15-40
No.30	0,6	15-100				8-30	10-35	10-30
No.50	0,3	5-70				-	-	5-15
No.100	0,15	0-15				0-8*)	0-8*)	0-8*)

*) Dinaikkan menjadi 10% untuk agregat halus pecah

Pasir

Dalam penelitian ini pasir yang digunakan berupa pasir alami yang diambil dari sungai di daerah Garut, Jawa Barat yang berjarak kira-kira 30 km dari Bandung. Pasir cukup baik, bersih, kadar lumpur < 5 % dan bentuk butiran beragam, ukuran butir masuk dalam gradasi zone 2 dengan maksimum 4,8 mm, sehingga dapat memenuhi persyaratan dalam SNI 03-1750-2004 (BSN 2004). Proses pengambilan pasir di lapangan dilakukan secara manual di beberapa titik dalam suatu penyimpanan. Proses tersebut memenuhi kaidah sampling sehingga memenuhi syarat cara pengambilan contoh untuk pengujian laboratorium (Watson 1972).

Kerikil

Dalam penelitian ini batu kerikil diambil dari daerah Banjaran kabupaten Bandung, yang berjarak kira-kira 10 km dari kota Bandung. Kerikil cukup baik, keras, kadar lumpur < 1% dan bentuk butiran kubikal, ukuran butir masuk dalam gradasi antara 4,8 mm dan 20,0 mm, sehingga dapat memenuhi persyaratan dalam SNI 03-1750-2004 (BSN 2004).

Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) jenis yaitu semen Portland Tipe I, *Ordinary Portland Cement type-I* (OPC tipe-I), PPC dan PCC. Mutu

semen *OPC* sesuai dengan ketentuan dalam SNI 2049:2015 (BSN 2015), diantaranya meliputi kehalusan minimum 280 m²/kg, kuat tekan umur 28 hari 280 kg/cm², waktu pengikatan awal minimum 45 menit, pengikatan akhir maksimum 375 menit, kadar SO₃ maksimum 3,0 % dan hilang pijar maksimum 3,0 %. Demikian pula untuk *PPC* sesuai SNI 0302:2014 (BSN 2014a) yaitu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen Portland dengan pozzolan halus. Sedangkan *PCC* sesuai SNI 7064:2014 (BSN 2014b), yaitu semen hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen Portland dan gipsum dengan beberapa bahan anorganik seperti terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan total bahan anorganik antara 6 sampai 35% dari massa semen Portland komposit. (Tavio 2015). Komposisi kimia dan fisika dari semen *OPC*, *PPC*, dan *PCC* ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia dan fisika dari semen *OPC*, *PPC*, dan *PCC*.

No.	Kandungan	Jenis Semen		
		<i>OPC</i>	<i>PPC</i>	<i>PCC</i>
1	Al ₂ O ₃ (%)	5,49	8,76	7,40
2	CaO (%)	65,21	58,66	57,38
3	SiO ₂ (%)	20,92	23,13	23,04
4	Fe ₂ O ₃ (%)	3,78	4,62	3,36
5	Kehalusan (%)	4,00	5,00	2,00
6	Berat isi (kg/L)	1,29	1,19	1,15

Sumber: Salain 2009

Penggunaan 3 jenis semen dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik beton yang dihasilkan sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penerapan dilapangan.

Air

Persyaratan air harus memenuhi ketentuan dalam SNI 03-6817-2002 (BSN 2002a). Air yang diusulkan dapat digunakan apabila kuat tekan mortar dengan air tersebut pada umur 7 hari dan 28 hari mempunyai kuat tekan minimum 90 % dari kuat tekan mortar dengan air suling untuk periode umur yang sama.

Sifat dan karakteristik beton

Beton merupakan bahan yang diperoleh dengan mencampurkan beberapa bahan baku seperti semen, agregat (pasir dan kerikil), air dan dengan atau tanpa bahan tambahan lain untuk mendapatkan sifat-sifat khusus dari beton. Khusus untuk beton struktural dengan kuat tekan diatas 20 MPa proporsi campuran harus dirancang sesuai SNI 7656:2012 (BSN 2012), Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa berdasarkan sifat-sifat bahan yang akan digunakan dengan penentuan kuat tekan dari silinder beton diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm pada umur 28 hari. Produksi beton struktural membutuhkan ketelitian yang lebih baik daripada beton nonstruktural karena beban dan pengaruh lingkungan yang akan diterimanya. Pada tahun 1970-an, sebelum ditemukan *superplasticizer*, campuran beton dengan kuat tekan 40 MPa atau lebih pada umur 28 hari disebut sebagai *high strength concrete*. Saat ini, setelah campuran beton dengan kuat tekan 60 MPa – 120 MPa tersedia di pasaran, pada *ACI Committe 2002* tentang *High Strength Concrete* merevisi definisinya menjadi "...dengan kuat tekan desain spesifikasi 55 MPa atau lebih..." (Aprizon dan Pramudiyanto 2008). Selain mempunyai kuat tekan rencana, beton yang sudah mengeras diharapkan mempunyai durabilitas yang baik, serta tahan terhadap rangkak dan susut.

Bagus [s.n.] menyebutkan bahwa permeabilitas beton dengan menggunakan semen *PPC* memiliki kedapapan air yang lebih baik dibanding dengan beton semen *OPC* dan

PCC. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil uji permeabilitas beton dimana kedalaman penetrasi air pada beton untuk beton semen *PPC* lebih kecil dibandingkan dengan beton semen *OPC* dan *PCC*. Dengan hasil tersebut, dalam praktek perlu diperhatikan terkait jenis dan fungsi bangunan dalam penggunaan jenis semen atau diperlukan perlakuan khusus agar dapat memenuhi persyaratan yang diperlukan dalam suatu bangunan. Penyusutan beton dengan menggunakan semen *OPC*, *PPC* dan *PCC* memiliki nilai penyusutan yang tidak terlalu signifikan. Nilai penyusutan beton semen *PPC* dan *PCC* pada umur 28 hari lebih besar dari penyusutan beton semen *OPC*. Aspek rangkak penggunaan semen *PPC* dan *PCC* cukup aman atau dapat disetarakan dengan semen *OPC*.

Dari penelitian yang sudah dilakukan terlebih dahulu, pada umur 28 hari peningkatan kuat tekan terjadi pada beton yang menggunakan semen tipe *PCC* sebesar 8 % terhadap kuat tekan beton yang menggunakan semen *OPC* dan *PPC*, dengan fas 0,42 (Salain 2009).

HIPOTESIS

Beton yang menggunakan semen *PPC* dan *PCC* akan menghasilkan sifat mekanik dan durabilitas yang relatif sama dibandingkan semen *OPC*.

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental dengan percobaan laboratorium, yaitu dengan membuat benda uji atau spesimen beton berbentuk silinder, kubus, dan balok. Dari benda uji tersebut dapat ditentukan kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, modulus elastisitas, permeabilitas, penyusutan, dan kekekalan bentuk akibat beban tetap. Selain uji mekanik beton, dilakukan juga pengujian durabilitas, pengujian susut, dan rangkak. Variasi mutu beton terdiri atas 2 kelas berdasarkan rasio air-semen, yaitu masing-masing untuk fas 0,40 dan 0,60. Tiga variasi jenis semen (semen *OPC*, semen *PPC*, dan semen *PCC*) diambil masing-masing dari 10 pabrik semen dengan jumlah 1000 kg. Pengujian semen dan agregat sebelum

digunakan juga dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh material yang akan digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat.

Penentuan proporsi campuran beton berdasarkan SNI 7656:2012 (BSN 2012) dengan rancangan percobaan, jenis semen: 3 variasi, mutu beton : 2 variasi dan kelecakan : 1 variasi, sedangkan pengujian meliputi pengujian beton segar (*slump*, suhu, berat isi dan faktor pemadatan) dan pengujian beton keras (kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik, modulus elastisitas, penyusutan, permeabilitas, dan perubahan bentuk akibat beban tetap atau rangkai).

Pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, kuat lentur, dan kuat tarik belah menggunakan mesin uji *Universal Testing Machine (UTM)* kapasitas 200 tonf dan kapasitas 100 tonf, sedangkan pengujian permeabilitas menggunakan alat uji permeabilitas pada tekanan 7 Bar dan ketetapan bentuk akibat beban tetap menggunakan alat uji rangkai. Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974-2011 (BSN 2011).

HASIL DAN ANALISIS

Hasil perhitungan proporsi campuran disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Proporsi campuran beton

No	Kode campuran	Faktor air-semen	Bahan (kg)				Keterangan
			Semen	Pasir	Kerikil	Air	
1	I	0,40	450,0	765,3	935,4	180,0	<i>Slump</i> (60 – 120) mm
2	II	0,60	300,0	820,4	1.002,7	180,0	

Dari Tabel 4, campuran beton dibuat dalam dua variasi dengan fas masing-masing 0,4 dan

0,6. Untuk hasil pengujian beton segar ditunjukkan dalam Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil pengujian beton segar

			Hasil uji beton segar			
No	Kode	fas	<i>Slump</i> (75-100) mm	Berat jenis (> 2325 kg/m³)	Suhu (< 68°C)	Faktor pemadatan (> 95 %)
Semen <i>OPC</i>						
1	I	0,40	76	2380	28	97
2	II	0,60	83	2364	27	98
Semen <i>PPC</i>						
3	I	0,40	82	2332	26	98
4	II	0,60	86	2330	26	98
Semen <i>PCC</i>						
5	I	0,40	83	2343	27	98
6	II	0,60	88	2336	27	98

Hasil pengujian beton segar yang disajikan dalam Tabel 5 di atas yang meliputi kelecakan (kemudahan pengerjaan), faktor pemadatan, suhu, dan berat jenis menunjukkan bahwa sifat beton segar yang dihasilkan memenuhi syarat sesuai yang direncanakan. Semakin tinggi fas menghasilkan berat jenis yang semakin rendah, hal ini disebabkan semakin berkurangnya kadar semen dan

agregat dalam beton sehingga kepadatannya semakin rendah. Untuk nilai suhu dan faktor pemadatan terjadi sedikit perbedaan namun tidak signifikan.

Hasil pengujian beton keras yang meliputi kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik, dan permeabilitas disajikan dalam Tabel 6 berikut.

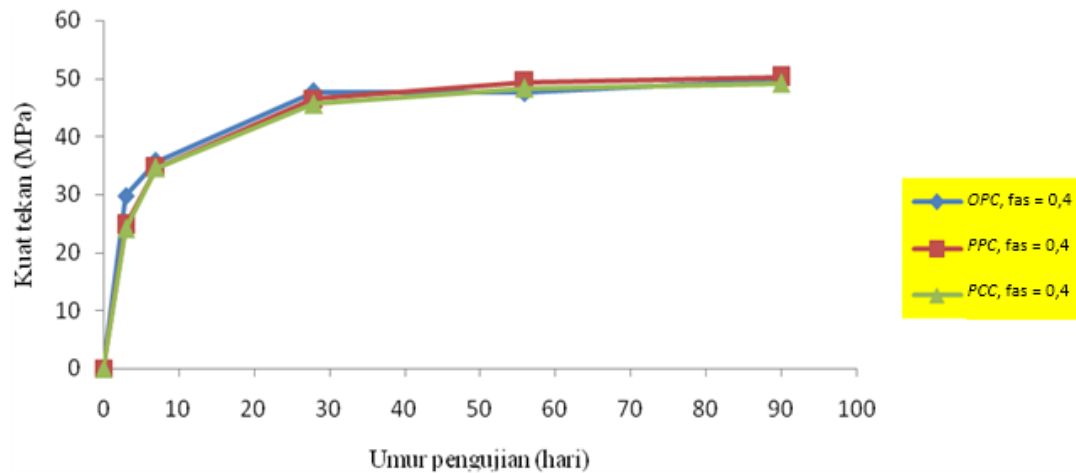
Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan

No	Kode	fas	Kuat tekan rata-rata (MPa) pada umur					Keterangan
			3 hari	7 hari	28 hari	56 hari	90 hari	
Semen OPC								
1	I	0,40	29,93	35,05	47,82	47,80	49,82	Umur 28 hari : f _{cr} = 47,69 MPa SD =1,82 MPa CV = 3,81 % f' _c = 44,71 MPa
2			30,18	34,90	48,97	46,96	50,12	
3			28,71	36,84	47,71	48,12	49,24	
4			29,73	36,25	46,88	46,64	48,90	
5			30,28	34,80	46,99	47,92	50,04	
6			29,81	35,94	47,79	47,98	49,76	
Rata-rata			29,77	35,63	47,69	47,57	49,64	
Semen OPC								
1	II	0,60	18,91	25,37	34,48	35,20	37,24	Umur 28 hari : f _{cr} = 34,63 MPa SD =1,27 MPa CV =3,66 % f' _c = 32,55 MPa
2			20,80	26,78	34,05	36,20	37,08	
3			17,14	24,90	35,46	34,78	35,86	
4			18,81	24,67	35,18	34,95	37,32	
5			20,70	25,28	34,25	35,42	38,02	
6			17,34	26,00	34,36	36,06	36,96	
Rata-rata			18,95	25,50	34,63	35,43	37,08	
Semen PPC								
1	I	0,40	24,90	35,05	46,82	49,22	50,21	Umur 28 hari : f _{cr} = 46,52 MPa SD =1,78 MPa CV = 3,82 % f' _c = 43,62 MPa
2			26,08	34,90	46,97	49,64	51,02	
3			25,21	34,84	45,71	48,98	49,86	
4			24,33	34,25	46,88	47,90	50,34	
5			23,18	33,80	46,99	49,35	50,42	
6			24,61	34,94	45,79	50,86	49,76	
Rata-rata			24,71	34,63	46,52	49,32	50,27	
Semen PPC								
1	II	0,60	16,15	25,06	34,80	35,83	38,04	Umur 28 hari : f _{cr} = 34,65 MPa SD =1,92 MPa CV = 5,54 % f' _c = 31,50 MPa
2			17,22	24,89	33,90	36,06	38,70	
3			15,78	26,82	33,71	35,70	37,85	
4			16,70	26,23	34,80	36,25	37,56	
5			15,28	24,82	35,90	34,74	38,80	
6			16,80	25,90	34,79	34,92	38,02	
Rata-rata			16,32	25,93	34,65	35,58	38,16	
Semen PCC								
1	I	0,40	23,83	34,02	45,73	48,50	49,09	Umur 28 hari : f _{cr} = 45,57 MPa SD =1,88 MPa CV = 4,12 % f' _c = 42,49 MPa
2			23,98	34,69	46,07	47,06	49,35	
3			24,27	36,02	44,78	46,98	50,20	
4			24,70	34,22	46,02	48,92	49,02	
5			23,84	34,20	44,90	48,65	48,96	
6			23,92	33,90	45,92	49,87	48,10	
Rata-rata			24,09	34,61	45,57	48,33	49,12	
Semen PCC								
1	II	0,60	16,70	26,20	33,65	34,18	36,36	Umur 28 hari : f _{cr} = 34,03 MPa SD =1,78 MPa CV = 5,23 % f' _c = 31,13 MPa
2			16,28	24,92	34,17	33,96	35,87	
3			18,70	26,42	34,32	34,20	37,04	
4			14,78	26,20	33,82	35,02	35,90	
5			16,80	24,88	33,94	33,85	36,42	
6			15,86	25,90	34,26	34,35	36,06	
Rata-rata			16,52	25,75	34,03	34,26	36,28	

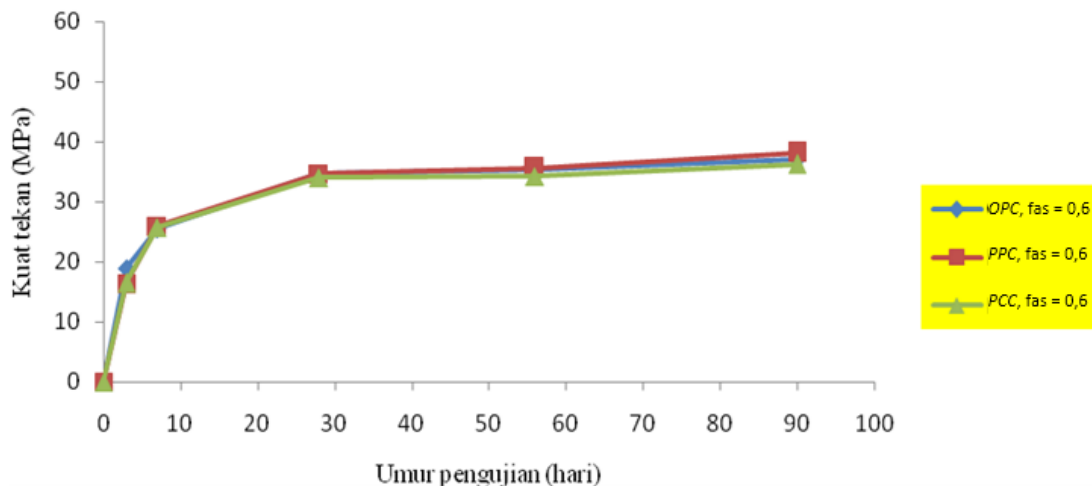
Keterangan: f_{cr} = kuat tekan rata-rata; SD = Standar deviasi; CV = Koefisien variasi; f'_c = Kuat tekan karakteristik.

Dalam bentuk grafik hubungan antara kuat tekan dan umur pengujian beton dengan

fas 0,4 dan 0,6 disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik hubungan kuat tekan beton semen *OPC*, *PPC* dan *PCC* dengan fas 0,4



Gambar 2. Grafik hubungan kuat tekan beton semen *OPC*, *PPC* dan *PCC* dengan fas 0,6

Dari Tabel 6, Gambar 1, dan Gambar 2 diatas terlihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan beton yang menggunakan semen *OPC* lebih tinggi 20% dari beton yang menggunakan semen *PPC* dan *PCC* untuk nilai fas 0,4. Sedangkan untuk fas 0,6 peningkatan kuat tekannya bertambah 16 % dari beton yang menggunakan semen *PPC* dan *PCC*. Untuk umur 7 hari dan fas 0,4 peningkatan kuat tekan beton dengan semen *OPC* sebesar 2 % dari beton yang menggunakan semen *PPC* dan *PCC*. Pada fas

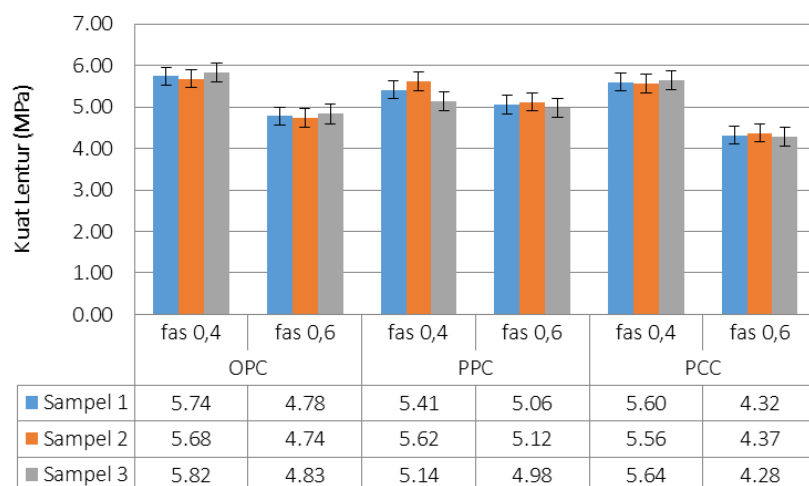
0,6 tidak terjadi perbedaan kuat tekan yang signifikan pada beton dengan ketiga jenis semen. Untuk umur 28 hari, kuat tekan beton dengan semen *OPC* lebih besar 2 % dari beton yang menggunakan semen *PPC* dan *PCC*. Sedangkan kuat tekan beton dengan semen *PPC* untuk umur lebih dari 28 hari lebih besar 3 % dari beton yang menggunakan semen *OPC* dan *PCC*. Hasil pengujian kuat lentur, kuat tarik, permeabilitas dan modulus elastisitas ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian kuat lentur, kuat tarik, permeabilitas dan modulus elastisitas

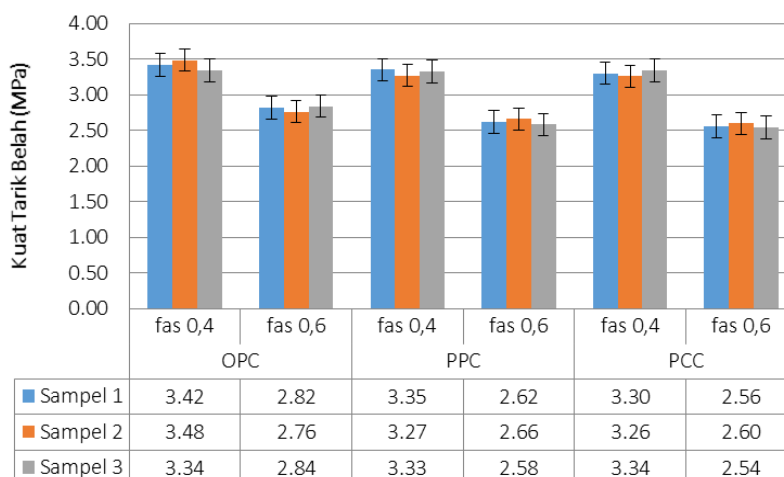
Hasil Pengujian, Umur 28 hari						
No	Kode	fas	Kuat lentur (MPa) SNI 03-2823-1992	Kuat tarik (MPa) SNI 03-2491-2002	Permeabilitas SNI 03-6433-2000	Modulus elastisitas (MPa) SNI 03-4169-1996
Semen <i>OPC</i>						
1	I	0,40	5,74	3,42	Kedap	4,81x 10 ⁴
2			5,68	3,48	Kedap	4,68x 10 ⁴
3			5,82	3,34	Kedap	4,72x 10 ⁴
	Rata-rata		5,75	3,41	Kedap	4,73x 10⁴
1	II	0,60	4,78	2,82	Kedap	4,20 x 10 ⁴
2			4,74	2,76	Kedap	4,16 x 10 ⁴
3			4,83	2,84	Kedap	4,09 x 10 ⁴
	Rata-rata		4,78	2,80	Kedap	4,15 x 10⁴
Semen <i>PPC</i>						
1	I	0,40	5,41	3,35	Kedap	4,15 x 10 ⁴
2			5,62	3,27	Kedap	4,20 x 10 ⁴
3			5,14	3,33	Kedap	4,22 x 10 ⁴
	Rata-rata		5,39	3,31	Kedap	4,19 x 10⁴
1	II	0,60	5,06	2,62	Kedap	3,92 x 10 ⁴
2			5,12	2,66	Kedap	3,87 x 10 ⁴
3			4,98	2,58	Kedap	3,88 x 10 ⁴
	Rata-rata		5,05	2,62	Kedap	3,89 x 10⁴
Semen <i>PCC</i>						
1	I	0,40	5,60	3,30	Kedap	4,11x 10 ⁴
2			5,56	3,26	Kedap	4,10x 10 ⁴
3			5,64	3,34	Kedap	4,21x 10 ⁴
	Rata-rata		5,60	3,30	Kedap	4,14x 10⁴
1	II	0,60	4,32	2,56	Kedap	3,80 x 10 ⁴
2			4,37	2,60	Kedap	3,96 x 10 ⁴
3			4,28	2,54	Kedap	3,89 x 10 ⁴
	Rata-rata		4,32	2,60	Kedap	3,88 x 10⁴

Dalam bentuk grafik hubungan antara hasil pengujian kuat lentur, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton dari berbagai jenis

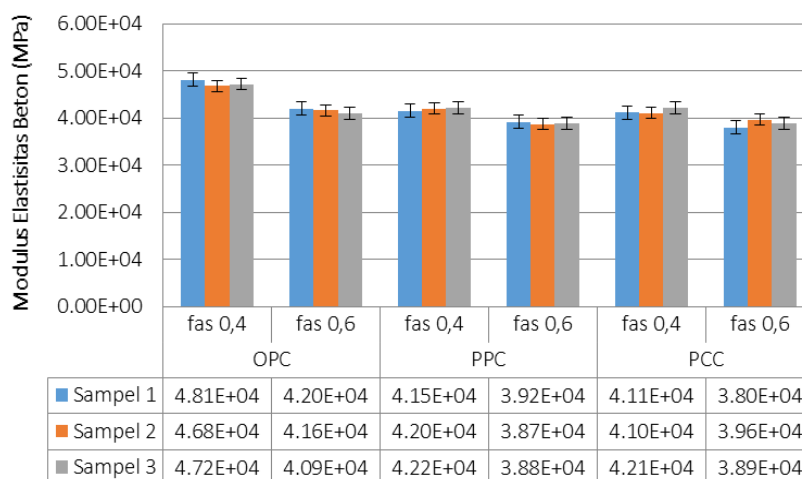
semen dengan fas 0,4 dan 0,6 disajikan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



Gambar 3. Grafik hubungan kuat lentur beton semen *OPC*, *PPC* dan *PCC* dengan fas 0,4 dan fas 0,6.



Gambar 4. Grafik hubungan kuat tarik belah beton semen *OPC*, *PPC* dan *PCC* dengan fas 0,4 dan fas 0,6



Gambar 5. Grafik hubungan modulus elastisitas beton semen *OPC*, *PPC*, dan *PCC* dengan fas 0,4 dan fas 0,6

Dari Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin tinggi fas menghasilkan kekuatan yang semakin rendah. Dari hasil uji kuat lentur, kuat tarik, modulus elastisitas, dan permeabilitas beton dengan semen *OPC* memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding beton dengan semen *PPC* dan *PCC*. Hal ini disebabkan karena pada semen *PPC* dan semen *PCC* terdapat material tambahan (substitusi) berupa bahan pozzolan, batu kapur, pasir silika, batu apung dan material lain yang bersifat sementitious dengan kadar antara 6 % - 35 % sesuai SNI 7064:2014 (BSN 2014b). Adanya bahan substitusi tersebut dapat berpengaruh terhadap sifat teknis dari beton yang dihasilkan terutama kuat

tekannya. Dari hasil uji beton, semen *PPC* dan semen *PCC* menghasilkan kuat tekan yang relatif sama.

Untuk mengetahui tingkat durabilitas beton, dilakukan uji permeabilitas, susut, dan rangkai. Pengujian rangkai beton mengacu pada SNI 03-4811-1998 (BSN 1998). Nilai permeabilitas ditentukan dari kedalaman penetrasi dalam satuan persen. Hasil uji permeabilitas beton dengan menggunakan semen *PPC* dan *PCC* memiliki kedalaman air yang sama dengan beton semen *OPC*. Dengan hasil tersebut, dalam praktek perlu diperhatikan terkait jenis dan fungsi bangunan dalam penggunaan jenis semen atau diperlukan perlakuan khusus agar dapat memenuhi

persyaratan yang diperlukan dalam suatu bangunan. Hasil uji susut, dan rangkai beton

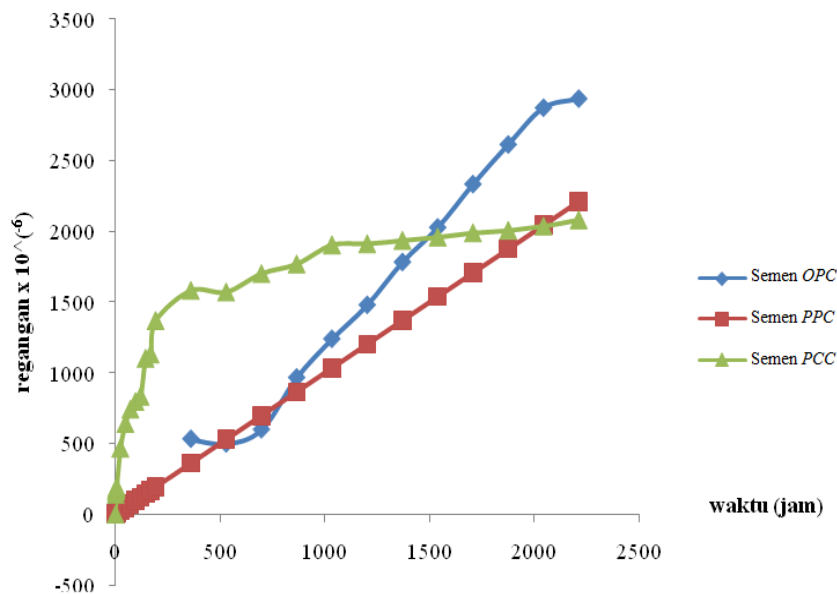
ditunjukkan dalam Tabel 8 dan Gambar 6.

Tabel 8. Hasil pengujian penyusutan beton

No	Kode contoh	Jenis Semen	fas	Penyusutan (%) pada umur		
				3 hari	7 hari	28 hari
1	A	OPC	0,40	-0,007	-0,021	-0,036
2	B			-0,005	-0,018	-0,034
3	C			-0,006	-0,018	-0,034
4	D			-0,004	-0,017	-0,033
5	E			-0,004	-0,017	-0,035
6	F			-0,004	-0,019	-0,037
7	I			-0,004	-0,023	-0,038
8	A	OPC	0,60	-0,008	-0,022	-0,035
9	B			-0,017	-0,028	-0,032
10	C			-0,002	-0,010	-0,032
11	D			-0,004	-0,014	-0,032
12	E			-0,002	-0,012	-0,032
13	F			-0,013	-0,028	-0,035
14	I			-0,007	-0,019	-0,037
15	A	PPC	0,40	-0,005	-0,020	-0,036
16	B			-0,005	-0,027	-0,035
17	C			-0,009	-0,025	-0,035
18	D			-0,004	-0,025	-0,034
19	E			-0,009	-0,027	-0,036
20	F			-0,010	-0,025	-0,037
21	G			-0,010	-0,022	-0,039
22	H	PCC	0,40	-0,009	-0,023	-0,038
23	I			-0,005	-0,018	-0,039
24	A			-0,003	-0,017	-0,037
25	B			-0,003	-0,022	-0,036
26	C			-0,003	-0,024	-0,036
27	D			-0,003	-0,017	-0,035
28	E			-0,003	-0,016	-0,037
29	F	PCC	0,60	-0,005	-0,020	-0,037
30	G			-0,007	-0,016	-0,038
31	H			-0,002	-0,015	-0,038
32	I			-0,003	-0,020	-0,039

Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa penyusutan beton dengan menggunakan semen *OPC*, *PPC*, dan *PCC* memiliki nilai penyusutan yang tidak terlalu signifikan. Nilai

penyusutan beton semen *PPC* dan *PCC* pada umur 28 hari lebih besar dari penyusutan beton semen *OPC*.



Gambar 6. Grafik hubungan regangan beton terhadap waktu

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa hasil uji rangkai beton dengan menggunakan semen *OPC*, *PPC*, dan *PCC* terdapat perbedaan nilai regangan dimana beton dengan semen *PCC* memiliki nilai regangan yang lebih besar sampai dengan umur sekitar 1500 jam dibanding beton dengan *PPC* dan *OPC*, tetapi pada umur lebih dari 1500 jam regangan *PCC* lebih rendah dari *OPC*. Nilai tersebut menggambarkan bahwa dari aspek rangkai penggunaan semen cukup aman atau dapat disetarakan dengan semen *PPC* dan *OPC*. Besarnya regangan merupakan harga mutlak dari data yang terbaca dalam alat (diambil nilai positif).

PEMBAHASAN

Analisis beda nyata dari pengujian kuat tekan

Untuk mengetahui apakah penggunaan semen *OPC* dan semen *PPC* cukup memiliki perbedaan yang signifikan terhadap kuat tekan dari beton yang dihasilkan, maka dilakukan analisis beda nyata. Analisis dilakukan untuk jenis semen *OPC* dan *PPC*, serta semen *OPC* dan *PCC*. Hasil analisis sidik ragam nilai kuat tekan beton umur 28 hari disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Analisis sidik ragam nilai kuat tekan beton umur 28 hari semen *OPC* dan semen *PPC*

Faktor	DB	JK	KT	F	Sig.
Jenis semen	1	5,050	5,050	2,718	0,119 ^{tn}
fas	1	846,951	846,951	455,882	0,000 ^{*)}
Jenis semen x fas	1	0,696	0,696	0,374	0,549 ^{tn}
Galat	16	29,725	1,858		

Keterangan : ^{*)} = sangat nyata, ^{tn} = tidak nyata

DB = Derajat Bebas, JK = Jumlah Kuadrat, KT = Kuadrat Tengah, F = Fisher, Sig. = Signifikansi

Tabel 10. Analisis sidik ragam nilai kuat tekan beton umur 28 hari semen *OPC* dan semen *PCC*

Faktor	DB	JK	KT	F	Sig.
Produsen	5	149,629	29,926	40,382	0,000 ^{*)}
Jenis semen	1	61,748	61,748	83,323	0,000 ^{*)}
fas	1	4390,848	4390,848	5,925E3	0,000 ^{*)}
Produsen x jenis semen	5	89,876	17,975	24,256	0,000 ^{*)}
Produsen x fas	5	63,994	12,799	17,271	0,000 ^{*)}
Jenis semen x fas	1	11,175	11,175	15,080	0,000 ^{*)}
Produsen x jenis semen x fas	5	33,064	6,613	8,923	0,000 ^{*)}
Galat	96	71,143	0,741		

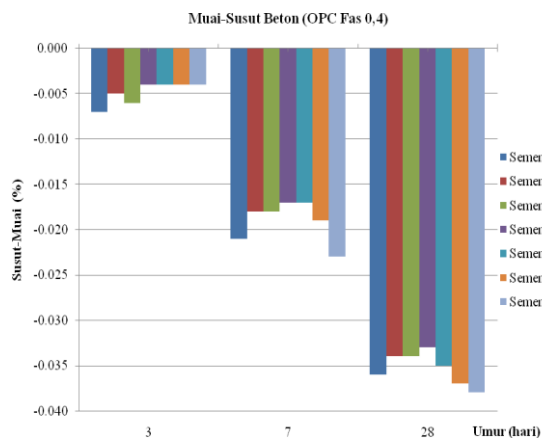
Keterangan : ^{*)} = sangat nyata

DB = Derajat Bebas, JK = Jumlah Kuadrat, KT = Kuadrat Tengah, F = Fisher, Sig. = Signifikansi

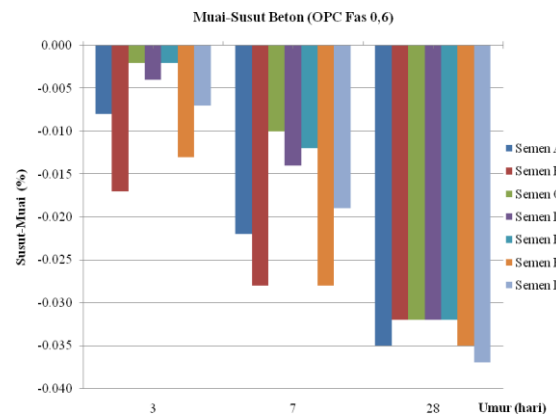
Analisis beda nyata dari pengujian kuat tekan pada umur 28 hari

Untuk mengetahui apakah penggunaan semen *OPC* dan semen *PPC* cukup memiliki perbedaan yang signifikan terhadap seluruh kuat tekan dari beton yang dihasilkan, maka dilakukan analisis beda nyata dari seluruh data. Pada Tabel 9, dapat dilihat bahwa analisis beda nyata terhadap hasil pengujian kuat tekan beton antara jenis semen *OPC* dan *PPC* pada umur 28 hari memiliki nilai keragaman yang tidak nyata, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua jenis semen tersebut memiliki karakteristik yang sama dalam penggunaannya untuk beton. Sedangkan pada Tabel 10 untuk jenis semen *OPC* dan *PCC* pada umur 28 hari memiliki nilai keragaman yang sangat nyata, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua jenis semen tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dalam penggunaannya untuk beton. Berdasarkan *ANOVA* untuk kuat tekan, masing-masing untuk fas 0,40 dan fas 0,60 keputusan yang diambil, masing-masing dengan nilai sig. = 0,108 > 0,05 tidak berbeda secara statistik, sig. = 0,000 < 0,05 berbeda secara statistik. Kesimpulannya antara semen *OPC* dan semen

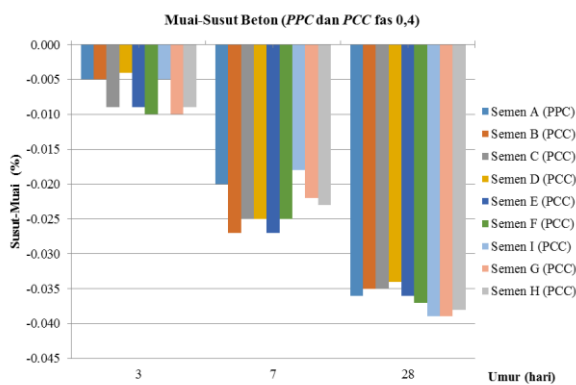
PPC adalah tidak berbeda secara statistik, tetapi untuk semen *OPC* dan semen *PCC* memiliki perbedaan yang cukup signifikan sehingga memiliki karakteristik yang berbeda penggunaannya untuk beton. Salah satu sifat penting dari beton adalah kedekatan air (permeabilitas) karena merupakan fungsi dari keawetannya, sehingga dapat menggambarkan kerapatan dari beton dan sejauh mana beton tersebut dapat menahan pengaruh dari luar terutama serangan bahan agresif seperti garam sulfat dan klorida. Sifat penting lainnya adalah kestabilan bentuk dari beton akibat pengaruh suhu udara, panas hidrasi dan umur beton yang ditandai dengan adanya perubahan bentuk atau retak pada permukaan. Dalam praktek penyusutan tersebut akan berpengaruh terhadap ukuran, bentuk dan bahkan retak yang besarnya sangat tergantung dari sifat bahan dan lingkungan. Penyusutan yang berlebih pada beton juga dapat berpengaruh terhadap stabilitas struktur terutama untuk beton massa. Secara grafis, hasil uji penyusutan beton dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



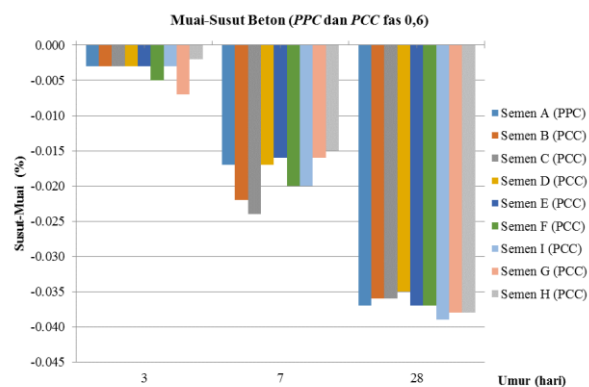
Gambar 7. Penyusutan beton (fas = 0,4) semen *OPC*



Gambar 8. Penyusutan beton (fas = 0,6) semen *OPC*



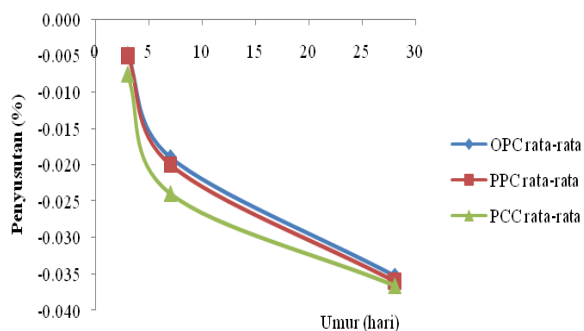
Gambar 9. Penyusutan beton (fas = 0,4) Semen *PPC* dan *PCC*



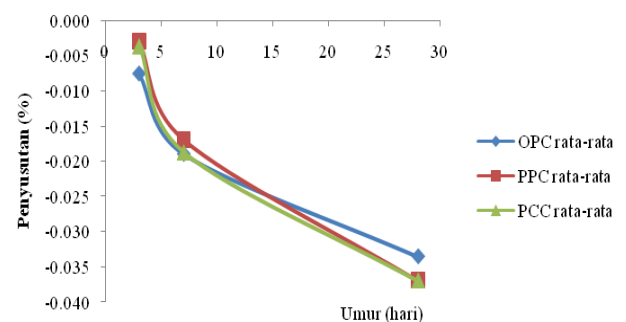
Gambar 10. Penyusutan beton (fas = 0,6) Semen *PPC* dan *PCC*

Dalam bentuk grafik hubungan antara penyusutan rata-rata dan umur untuk masing-

masing jenis semen dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Penyusutan vs umur beton (fas = 0,4)



Gambar 12. Penyusutan vs umur beton (fas = 0,6)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, dapat disimpulkan bahwa untuk semen *OPC* kuat tekan beton dengan fas 0,4 lebih tinggi 38 % dari kuat tekan beton dengan fas 0,6. Untuk semen *PPC* dan *PCC* kuat tekannya 34 % lebih tinggi dari kuat tekan beton dengan fas 0,6.

Hasil uji kuat lentur dan kuat tarik menunjukkan bahwa beton dengan semen *OPC*, *PPC* dan *PCC*, memiliki perbedaan kekuatan namun tidak terlalu signifikan. Kuat lentur beton dengan fas 0,4 lebih tinggi 20% dari beton dengan fas 0,6. Sedangkan untuk kuat tarik belah, beton dengan fas 0,4 lebih tinggi 22% dari beton dengan fas 0,6.

Modulus elastisitas beton dengan semen *OPC* memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding beton dengan semen *PPC* dan *PCC*, namun antara beton semen *PPC* dan *PCC* cukup signifikan, sekitar 15%.

Dari uji permeabilitas, seluruh benda uji dapat memenuhi syarat kedap/tidak rembes dengan kedalaman/penetrasi bagian yang lembab yang relatif kecil. Dari analisis beda nyata terhadap hasil pengujian kuat tekan beton, antara *OPC* dan *PCC* memiliki karakteristik yang berbeda dalam penggunaannya untuk beton. Sedangkan untuk semen *OPC* dan *PPC* memiliki karakteristik yang hampir sama dalam penggunaannya untuk beton. Untuk beton dengan fas 0,4 dan 0,6 mempunyai nilai permeabilitas yang relatif sama.

Untuk regangan susut, beton dengan semen *PCC* mempunyai nilai yang lebih kecil 60% dari regangan beton yang menggunakan semen *OPC* dan *PPC*.

Saran

Bila menggunakan semen jenis *PCC*, agar dalam rancangan campuran digunakan nilai fas lebih rendah dari semen *OPC* untuk mendapatkan target kekuatan yang sama.

Perlu dilakukan kajian lebih lanjut dalam aplikasi di lapangan terutama pengaruhnya terhadap lingkungan agresif dari ketiga jenis semen tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami ucapkan terima kasih kepada rekan-rekan peneliti dan teknisi di Laboratorium Bahan dan Struktur Bangunan, Puslitbang Perumahan dan Permukiman, yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman serta Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprizon, Andi, dan Pramudiyanto. 2008. *High Strength Concrete*.
<http://pramudiyanto.wordpress.com/2008/08/06/beton-mutu-tinggi/> (diakses 15 April 2015).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 1991. *Metode Pengujian Kuat Tarik – Beban Beton*. SNI 03-2491-1991. Jakarta: BSN.
- , 1992. *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton Memakai Gelagar Sederhana dengan sistem beban titik tengah*. SNI 03-2823-1992. Jakarta: BSN.
- , 1996. *Metode pengujian modulus elastisitas statis dan ratio poisson beton dengan kompresometer*. SNI 03-4169-1996. Jakarta: BSN.
- , 1998. *Metode Pengujian rangkai pada beton*. SNI 03-4811-1998. Jakarta: BSN.
- , 2000. *Metode pengujian kerapatan dan rongga beton yang telah mengeras*. SNI 03-6433-2000. Jakarta: BSN.
- , 2002a. *Metode pengujian mutu air untuk digunakan dalam beton*. SNI 03-6817-2002. Jakarta: BSN.
- , 2002b. *Metode pengujian kadar zat organik agregat halus*. SNI 03-2816-2002. Jakarta: BSN.
- , 2004. *Spesifikasi agregat untuk beton*. SNI No 03-1750. Jakarta: BSN.
- , 2008a. *Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*. SNI 2417-2008. Jakarta: BSN.

- , 2008b. *Cara uji sifat kekekalan agregat dengan cara perendaman menggunakan larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat*. SNI 3407-2008. Jakarta: BSN.
- , 2011. *Metode pengujian kuat tekan beton*. SNI 1974-2011. Jakarta: BSN.
- , 2012. *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. SNI 7656 :2012. Jakarta: BSN.
- , 2014a. *Semen portland pozolan*. SNI 0302:2014. Jakarta: BSN.
- , 2014b. *Semen portland komposit*. SNI 7064:2014. Jakarta: BSN.
- , 2015. *Semen portland*. SNI 2049:2015 Jakarta: BSN.
- Bagus, J. [s.a]. “*Pengaruh Perbedaan Karakteristik Type Semen Ordinary Portland Cement (OPC) Dan Portland Composite Cement (PCC) Terhadap Kuat Tekan Mortar*”. Skripsi Universitas Gunadarma.
- <http://library.gunadarma.ac.id/repository/view/322303/> (diakses 10 Maret 2017).
- Hansen, T.C. 1978. *Manual on Concrete Mix Design and Quality Controls. Technical Report No. 21*. Bandung
- Kjaer, Ulla dan Z. Aksa, 1980. *Pemeriksaan Mutu Beton dan Mutu Pelaksanaan selama Pekerjaan Beton*. Bandung.
- Salain, I Made Alit Karyawan. 2009. Pengaruh Jenis Semen dan Jenis Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton. *Majalah Teknologi dan Kejuruan* 32(1): 63.
- Suhartopo.1996. *Pengaruh Mortar dan Ultra Fines Dalam Beton*. PT. Beton Cilegon Agung, Cilegon
- Tavio, 2015. *Tata Cara Penentuan Proporsi Campuran untuk Beton dengan Semen Portland Biasa, Semen Portland Pozzolan dan Semen Portland Komposit*. Bandung.
- Watson DA. 1972. *Construction Materials and Processes*. Mc. Graw Hill Book Company.